MANUFACTURE OF SOLID BRICKS WITH CALCINED DIATOMS

Ángel Antonio Ruiz Pico[1], John Alexander Celi Carrasco[1]

[1]Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil
Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador
aaruiz7@utpl.edu.ec, jaceli2@utpl.edu.ec

Received: January 2018. Accepted: June 2018

ABSTRACT

Bricks are elements used in masonry. They are manufactured from clay -with or without sand-, water and are subject to a firing process at a given temperature. However, in their manufacture it is possible to add other elements in dosage to improve the product. One of these are diatoms.

First of all, clays acquired from Catamayo-Loja (S1-01) and calcined diatomaceous (MG) from Mexico were characterized. They were characterized by soil classification tests, physical, mechanical, fluorescence and X-ray diffraction. Additionally, scanning electron microscopy was performed in diatoms.

Furthermore, various dosages were performed to find the optimal mixture. For this, indirect tensile tests that meet the condition of lower density and higher mechanical strength were conducted.

Finally, bricks were manufactured with the optimum mixture, baked at 950°C, they were characterized by conducting physical and mechanical tests. These results were compared with the results obtained from handmade bricks made with the same clay purchased in Catamayo.

The results showed that the optimal mixture corresponds to the proportion 70/30 (IS-01/MG). The value of unconfined compressive strength was 12.65MPa, total porosity was 56.93%, the percentage of water absorption was 44.83% and the bulk density was 1.08g/cm3.

Keywords: Clay, characterization, convencional firing, bricks, calcined diatomaceous earth, indirect traction.

FABRICACIÓN DE LADRILLOS MACIZOS CON DIATOMEAS CALCINADAS

RESUMEN

Los ladrillos cerámicos son elementos utilizados en albañilería fabricados a base de arcilla con o sin arena, agua y sometidos a un proceso de cocción a una temperatura determinada. Sin embargo, en su fabricación es posible añadir otros

elementos en la dosificación para mejorar el producto. Uno de estos son las diatomeas.

Primero se caracterizaron las arcillas (SI-01) adquiridas en Catamayo-Loja y diatomeas calcinadas (MG) procedentes de México. Mediante ensayos de clasificación de suelos, físicos, mecánicos, fluorescencia y difracción de rayos X. También, se realizó una microscopía electrónica de barrido a las diatomeas.

Posteriormente se elaboraron varias dosificaciones hasta encontrar la mezcla óptima. Para ello se realizaron ensayos de tracción indirecta con la finalidad de encontrar la mezcla con menor densidad y mayor resistencia mecánica.

Finalmente, se fabricaron ladrillos con la mezcla óptima, cocidos a 950°C, que fueron caracterizados mediante ensayos físicos y mecánicos. Estos resultados fueron comparados con los obtenidos de ladrillos artesanales fabricados con la misma arcilla.

Los resultados mostraron que la mezcla óptima corresponde a la proporción 70/30 (SI-01/MG). El valor de resistencia a compresión simple fue 12.65MPa, la porosidad total fue 56.93%, el porcentaje de absorción de agua fue 44.83% y la densidad aparente fue 1.08g/cm3.

Palabras clave: Arcilla, caracterización, cocción convencional, ladrillo macizo, tierras diatomeas calcinadas, tracción indirecta.

1 INTRODUCCIÓN

Se estima que los ladrillos de arcilla cocida han sido utilizados desde el año 5000 a.C (Berge, 2009; Lyons, 2010). Por esta razón constituye uno de los materiales de construcción más antiguo (Duggal, 2008). Algunas de las construcciones más significativas a nivel mundial (Coliseo de Roma, la Gran muralla China, las pirámides de Egipto, etc.) han sido construidas con ladrillo (Phonphuak y Chindaprasirt, 2015). Los ladrillos son uno de los materiales de construcción más populares debido a su durabilidad, buen aspecto estético, resistencia, prestaciones de aislamiento, facilidad de manipulación y economía (Allen y Iano, 2008; Berge, 2009; Phonphuak y Chindaprasirt, 2015).

Los métodos de producción de ladrillos se pueden dividir en tres categorías (Zhang, 2013): (1) cocción, (2) cementación y (3) geopolimerización. Con independencia del método de producción utilizado, los ladrillos de arcilla cocida han sido y aún son utilizados para proyectos de vivienda (Bidoung *et al*. 2016). Durante los últimos años se ha presentado una gran corriente de investigaciones enfocadas en la fabricación de ladrillos ligeros con material de desecho. El principal material usado para su desarrollo es la diatomita después de cumplir su vida útil como filtro generalmente en cervecerías. Antes de usar el polvo de lodo (diatomita usada) (Ferraz *et al.* 2011), calcinaron este material a 500 °C con el fin de eliminar la materia orgánica retenida entre los poros producto de la

filtración. La aplicación de las tierras diatomeas en la fabricación de ladrillos ligeros, se debe a su alta porosidad (Ferraz *et al.* 2011). Usar ladrillos ligeros reduce el peso muerto de las estructuras, por lo que se obtienen construcciones más económicas (Agilan, 2016). En zonas sísmicas, al utilizar este tipo de ladrillos se disminuye la probabilidad de afectación en una estructura durante un movimiento telúrico (Agilan, 2016; Wan Ibrahim *et al.* 2015).

Los ladrillos más utilizados en la ciudad de Loja son de tipo macizo, fabricados en el cantón Catamayo (Pérez-Castillo, 2016). Poseen un peso promedio de 4.2 kg por ladrillo (Pérez-Castillo, 2016). Estos ladrillos se utilizan para levantar paredes divisorias y medianeras, aportando gran peso en las estructuras. Por esta razón se planteó analizar la inclusión de otros elementos en la mezcla para reducir la masa de los ladrillos. Para ello se reemplaza un porcentaje de arcilla (menor al 50%), por tierras diatomeas calcinadas. Esta reducción en el peso de los ladrillos, conlleva a mejorar tanto el rendimiento de colocación como de transporte. Además, permite disminuir la probabilidad de afectación a una estructura en caso de sismos y reducir costes de construcción.

Se pretende demostrar la viabilidad del uso de tierras diatomeas calcinadas en la fabricación de ladrillos con arcillas de Catamayo. Además se pretende mejorar sus propiedades físicas, mecánicas, peso volumétrico y resistencia a compresión simple.

Tras la realización de las diferentes dosificaciones los ladrillos se secan y se someten a procesos de cocción convencional. El objetivo es encontrar un nuevo material con aplicación en construcción.

En la fase de investigación primeramente se realizó una revisión de las referencias sobre las tierras diatomeas. Después se caracterizó la materia prima (arcilla y tierras diatomeas). Se estableció la mezcla óptima entre la arcilla y las tierras diatomeas mediante la realización de ensayos de compresión diametral en discos con diferentes dosificaciones. Tras la determinación de la mezcla óptima se fabricaron ladrillos. Finalmente se realizó una caracterización de los ladrillos fabricados con la mezcla óptima mediante la realización de ensayos de porosidad, densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión simple.

El resultado fue la obtención de un ladrillo más ligero y resistente.

2 MÉTODO

a. Fundamento teórico

La diatomita forma parte del grupo de rocas silíceas sedimentarias, que posee los siguientes rasgos característicos: (1) presencia de sílice amorfo activo SiO2, (2) estructura de finos poros, (3) ligereza y (4) baja conductividad térmica (Galal Mors, 2010; Ivanov y Belyakov, 2008; Loganina *et al*. 2014). Las tierras diatomeas están constituidas por restos de esqueletos fosilizados de diatomeas, un tipo de algas unicelulares de origen acuático (Arik, 2003; Galal Mors, 2010; Loganina et al., 2014; Paschen, 1986). La diatomita se utiliza desde hace miles de

años, pero en los últimos 200 años, se ha producido un incremento en su uso y una extracción a escala comercial (Flower, 2013).

Los poros y las paredes de los poros de las diatomeas son de tamaño nano, lo cual justifica el clasificarlas como nano-materiales (Ivanov y Belyakov, 2008). Algunos de los beneficios de la calcinación de las tierras diatomeas son: (1) su estructura más regular (cristalización), (2) reducción de la gravedad específica puesto que se elimina la materia orgánica de los poros y (3) reducción de la adsorción de agua (U.S Environmental Protection Agency, 1985; Yilmaz y Ediz, 2008).

b. Materiales

Las tierras diatomeas (MG) utilizadas en la investigación son de origen lacustre y han sido tratadas previamente mediante un proceso de calcinación a una temperatura superior a 1000°C. Estas tierras fueron adquiridas a la empresa RINDA Cia. Ltda. en la ciudad de Guayaquil-Ecuador, quienes importan este producto empacado y tratado desde México con la marca Celite. Este material principalmente se comercializa en Ecuador como filtro-ayuda para aplicaciones industriales.

La arcilla (SI-01) utilizada para la presente investigación fue obtenida de la mina Indiucho, en el cantón Catamayo de la provincia de Loja-Ecuador, localizada en las coordenadas 17 N 0681519, E 9554422. Este material es usado por los productores artesanales de Catamayo para elaborar los ladrillos cerámicos.

c. Metodología

a). Para la caracterización de la materia prima (arcillas y diatomeas) se realizaron ensayos de granulometría (ASTM D422, 2007), gravedad específica (ASTM C128, 2004), (AASTHO T-100, 2010), límites de Atterberg (ASTM D4318, 2010), , fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX) y adicionalmente una microscopía electrónica de barrido (MEB) a las diatomeas.

b). Para determinar la mezcla óptima, primero se plantearon 5 tipos de mezclas de SI-01 con MG en diferentes proporciones. En las dosificaciones se primaba la cantidad de arcilla. Se pretende por una parte reducir parcialmente la masa de los ladrillos debido a la baja densidad que poseen las diatomeas. Las mezclas analizadas (SI-01 – MG) fueron: 50%-50%, 60%-40%, 70%-30%, 80%-20% y 90%-10%. La dosificación para cada una de estas mezclas fue realizada por masa: cada porcentaje representa la concentración porcentual en peso (wt%).

Se elaboraron 3 probetas (discos) de cada una de las mezclas antes establecidas. Las dimensiones de las probetas fueron de 7.18 cm de diámetro y 1.5 cm de espesor. El proceso de fabricación se dividió en 4 etapas: mezclado, amasado - moldeo, secado y cocido (Galán y Aparicio, 2005; Kornilov y Luzin, 2004; Sampe y Pakiding, 2015). Los discos se manufacturaron para optimizar material y tiempo. Finalmente fueron cocidos a una temperatura de 950°C.

La selección de la mezcla óptima (MO) fue determinada en función del factor de optimización (fopt) (García et al. 2016). Está definido como la relación entre el máximo esfuerzo soportado por la muestra bajo tensión indirecta (σ_{TI}), expresado en MPa y la masa de la probeta (m), expresada en kg según la siguiente expresión:

$$f_{opt} = \frac{\sigma_{TI}}{m}, \quad (1)$$

La MO corresponde a la composición del disco que exhiba el valor más alto de factor de optimización (del Coz Díaz *et al*. 2011; García *et al.* 2016; Iglesias *et al.* 2005).

c). La fabricación de los ladrillos se realizó con el mismo proceso anteriormente descrito en la elaboración de discos. Se elaboraron 5 ladrillos con la MO. Se usó un molde rectangular de las mismas dimensiones (240x140x87 mm) que los ladrillos fabricados por productores artesanales de Catamayo. La hidratación de la mezcla se realizó con 3 puntos porcentuales por arriba del LL. Los ladrillos fabricados con la mezcla óptima se sometieron a una temperatura de cocción de 950°C, la misma a la que se cocieron los discos.

d). Para caracterizar los ladrillos fabricados se realizaron ensayos siguiendo la normativa vigente. Según Zhang (2013) y Phonphuak y Chindaprasirt (2015), la resistencia a la compresión y absorción de agua son los dos parámetros más comunes considerados por muchos investigadores y requerido por varias normativas. La caracterización de los ladrillos incluyó la determinación de: (1) porosidad, (2), densidad, (3) absorción de agua y (4) resistencia a compresión simple. El resultado de cada uno de estos ensayos corresponde al promedio de 5 unidades. Para comparar los resultados obtenidos se aplicó la misma caracterización en 5 ladrillos artesanales adquiridos en el cantón Catamayo fabricados con la misma arcilla que la utilizada en laboratorio.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

a. Caracterización de materia prima.

a). La granulometría se realizó con el método del hidrómetro debido al tamaño de partículas que constituyen los materiales utilizados. El tamaño de las partículas de la materia prima utilizada (SI-01) está formada por 57.77% de arena, 16.86% de limo y 25.37% de arcilla. Debido a su porcentaje predominante de arena se clasifica como arenoso. Asimismo, la tierra de diatomea utilizada (MG) está compuesta por 20.14% de arena, 76.24% de limo y 7.22% de arcilla. Este material se clasifica como material limoso.

b). La gravedad específica de SI-01 y MG es 2.40 y 2.12, respectivamente.

c). Según los resultados de los límites de Atterberg, SI-01 el componente arcilloso presenta una alta plasticidad (LL=59% ; IP=34%). Mientras que MG se clasifica como una material no plástico. Según Callister y Rethwisch (Callister y

Rethwisch, 2007), cuando una arcilla se ha quemado a temperaturas elevadas, pierde su hidroplasticidad.

d). Los resultados del análisis químico (FRX) de la materia prima se muestran en la tabla 1. Este análisis indica que SiO_2 y Al_2O_3 constituyen el mayor contenido de SI-01 y MG.

Tabla 1. Composición química de materia prima expresa en óxidos

	SI-01	MG
Elemento	**%**	**%**
Al_2O_3	15.1	4.07
SiO_2	60.3	92.4
S	0.05	-
K_2O	0.72	0.25
CaO	5.59	0.41
TiO_2	0.6	0.25
V_2O_5	0.02	0.03
Cr_2O_3	0.05	0.04
MnO	0.22	0.05
Fe_2O_3	7.6	2.11
Co_3O_4	-	0.02
ZnO	0.01	0.01
Sr	0.05	-
ZrO_2	0.02	-
SnO_2	0.08	0.1
Sb_2O_2	0.42	-
CeO_2	0.08	0.02

e). La composición mineralógica se determinó mediante DRX. Un análisis semicuantitativo realizado en los difractogramas, revelaron que la muestra SI-01 estaba compuesta por una mezcla de cuarzo (8.85 %), montmorillonita (22.79 %), circón (0.15%) y plagioclasas (68.22 %). Mientras que el difractograma de MG mostró cuarzo (16.92 %) y cristobalita (83.08 %).

No se ha podido determinar el tipo de plagioclasas que constituyen el material SI-01 sobre el total de plagioclasas ya que no se determinó la cantidad de sodio. En (García *et al.* 2016) realizaron una DRX del mismo suelo SI-01 y se obtuvo un alto contenido de andesina.

f.) En la MEB mostrada en la figura 1, se puede observar que las diatomeas empleadas para la presente investigación poseen una forma circular (diatomea centrada) y una estructura porosa. Sus poros tienen un diámetro de 0.25 µm y están despejados debido al proceso de calcinación que eliminó la materia orgánica de su interior (U.S Environmental Protection Agency, 1985).

Mediante un microscopio digital, se pudo efectuar mediaciones de las partículas (diatomeas) y se obtuvo diámetros entre 15 y 60 µm.

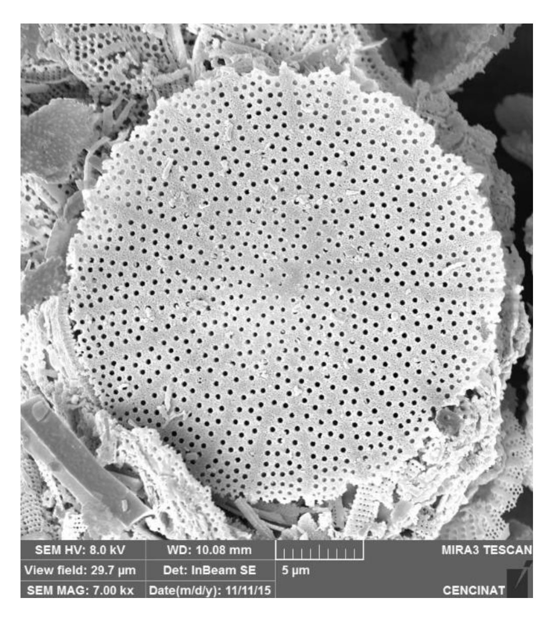


Figura 1. Microscopía electrónica de barrido de tierras diatomeas (MG).

b. Optimización de mezclas

El ensayo de tracción indirecta fue parte fundamental del proceso de optimización. En la figura 2 se presenta una curva con los resultados del fopt para cada tipo de mezcla. También se puede apreciar la variación de la densidad aparente en cada mezcla. Se observa que existe un incremento en la densidad a medida que se incrementa la proporción de arcilla en la mezcla. Esto es debido a la densidad real de SI-01 que es mayor que la densidad de MG.

En la figura 2, los resultados del factor de optimización muestran dos niveles: (1) uno bajo y (2) uno alto. Para encontrar un ladrillo que cumpla la condición de masa baja y resistencia alta, se analiza el fopt. En la figura 2 se observa que el valor más elevado del parámetro fopt corresponde a la mezcla 80/20, si bien no presenta una diferencia significativa con las mezclas 70/30 y 90/10 teniendo en cuenta el análisis de desviaciones estándar. La mezcla 90/10 presenta una densidad similar a la de los ladrillos artesanales elaborados en Catamayo, por lo que esta mezcla fue desestimada. Considerando lo expuesto anteriormente, se seleccionó como mezcla óptima la 70/30. La densidad aparente de esta mezcla es 1.02 g/cm3 y la resistencia a la tracción indirecta en los discos es 2.65 MPa, con una desviación estándar de 0.29 MPa.

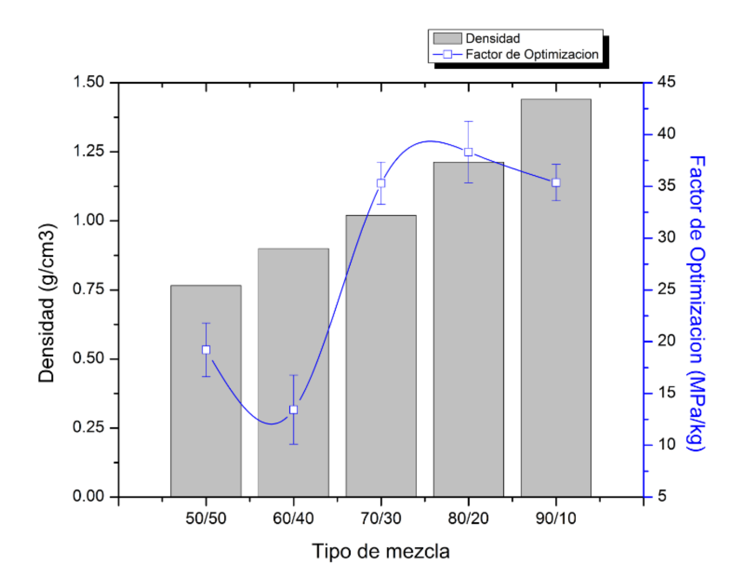


Figura 2. Variación del factor de optimización respecto al tipo de mezcla.

c. Fabricación de ladrillos con la mezcla óptima

Los ladrillos se realizaron con el mismo procedimiento antes escrito para los discos, comprendido por: mezclado, amasado - moldeo, secado y cocido.

En la figura 3 se muestra le programa de secado utilizado. Este programa se obtuvo tras varias pruebas que tenían como resultado la fisuración de los ladrillos. Esto fue debido a que la velocidad de evaporación del agua era superior a la velocidad de difusión de las moléculas de agua dentro de los ladrillos.

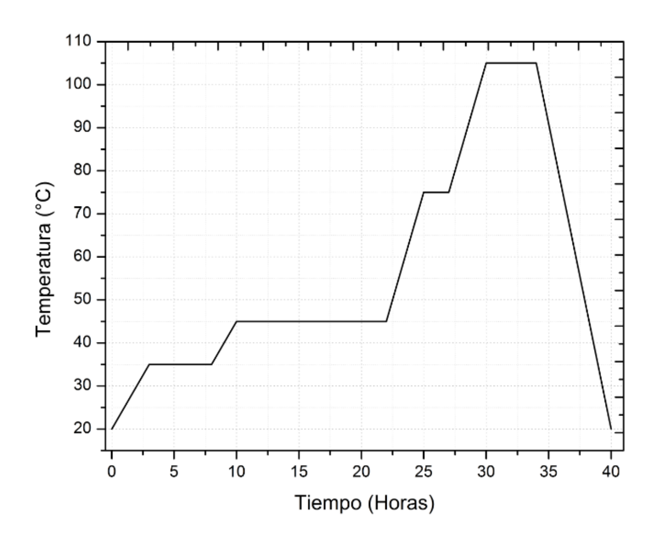


Figura 3. Programa de secado de ladrillos.

El programa de cocción utilizado se puede apreciar en la figura 4. Este programa es el mismo que el utilizado para para la cocción de los discos.

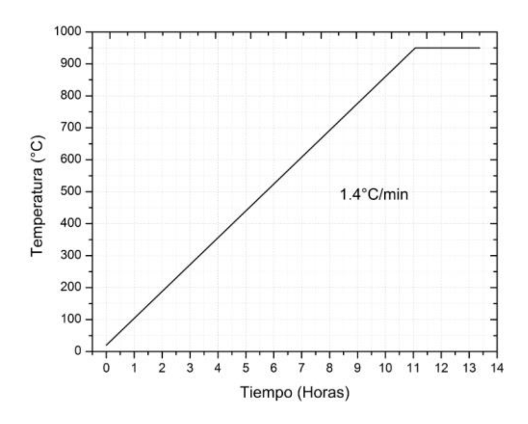


Figura 4. Programa de cocción de ladrillos.

d. Caracterización de ladrillos con la mezcla óptima

a). Los ladrillos fabricados con la mezcla óptima (70/30) presentan una porosidad total promedio de 56.93 %, elevada en comparación con los ladrillos artesanales de Catamayo que presentan un 37.23 % de porosidad total. Esta diferencia en la porosidad total es debida a la estructura porosa de las diatomeas (microporos) y no a los poros que se puedan producir durante el proceso de fabricación.

b). El peso seco promedio de los ladrillos mejorados 70/30 y de los ladrillos artesanales es 3.07 kg y 4.21 kg respectivamente. Asimismo presentan una densidad aparente de 1.08 g/cm3 y 1.47 g/cm3, respectivamente. En ensayos realizados por otros autores (García *et al.* 2016) en ladrillos producidos por 7 productores artesanales de Catamayo, se obtuvo densidades aparentes entre 1.42 g/cm3 y 1.53 g/cm3. Otras investigaciones presentan resultados de densidades aparentes de ladrillos fabricados con tierras diatomeas en Rusia y Dinamarca, con valores inferiores a 1.0 g/cm3 (Ivanov y Belyakov, 2008) y (Pimraksa y Chindaprasirt, 2009) debido a que se usó un 100% de diatomita en la fabricación de los ladrillos.

c). Los ladrillos mejorados con tierras diatomeas mostraron un resultado promedio de 44.83 % de absorción de agua, prácticamente el doble de lo absorbido por los ladrillos de Catamayo (22.22 %). Este porcentaje de absorción de agua en los ladrillos de Catamayo los clasifica como ladrillos “Tipo C” según la norma ecuatoriana NTE INEN 297 (NTE INEN 297, 1978). Sin embargo, teniendo en cuenta esta normativa, el límite máximo de absorción de agua es inferior a 25 %, por lo que los ladrillos 70/30 no cumplen esta condición.

En otras investigaciones se utilizaron tierras que contenían diatomeas, caolinita, montmorillonita e ilita, para fabricar ladrillos (Pimraksa y Chindaprasirt, 2009). Como resultados de algunas dosificaciones también se obtuvo porcentajes de absorción de agua superiores a 44%. La razón por la cual los ladrillos

fabricados con diatomeas poseen una alta capacidad de absorción de agua se debe a la propiedad que poseen las tierras diatomeas para absorber líquidos (Ivanov y Belyakov, 2008).

d). Los ladrillos 70/30 poseen una resistencia a la compresión promedio de 12.65 MPa (desviación estándar= 0.47 MPa), valor que permite clasificarlos según la norma ecuatoriana NTE INEN 297 (NTE INEN 297, 1978) como un ladrillo “Tipo C”.

Por otro lado, los ladrillos artesanales caracterizados en el presente trabajo mostraron una resistencia a compresión promedio de 7.79 MPa y una desviación estándar de 1.52 MPa. Este resultado clasifican a este ladrillo como “Tipo C” según la normativa ecuatoriana (NTE INEN 297, 1978) si bien el resultado promedio es inferior a los 8 MPa indicado en la norma. Se ha tenido en consideración que algunas de las muestras de ladrillos sometidas a compresión simple supera este valor. Según los estándares de la ASTM, los ladrillos fabricados con tierras diatomeas se clasifican como un Building Brick – grado NW. Según Technical notes on brick construction (Technical notes on brick construction, 2007), los Building Brick están destinados para uso estructural y no estructural cuando la apariencia no es un requerimiento. El grado es una clasificación de durabilidad. En este caso el grado NW, indica que debe ubicarse en lugares donde no se exponga a climas severos. Un ejemplo de aplicación de estos ladrillos son las paredes o muros portantes internos en viviendas o edificaciones.

4 CONCLUSIONES

Es viable el uso de tierras diatomeas calcinadas para fabricar ladrillos.

La determinación del programa de secado óptimo para cualquier ladrillo crudo, debe cumplir con la misión de extraer toda la humedad sin que se generen fisuras y de este modo evitar que se partan y/o fisuren durante el proceso de cocción.

Considerando la dispersión experimental del ensayo de tracción indirecta, se puede concluir que el máximo esfuerzo resistente TI de la mezcla 70/30, es un 20.9 % del esfuerzo resistente a compresión.

Un gran porcentaje de la porosidad total de los ladrillos de diatomeas (70/30), se debe a la característica adoptada de las pequeñas partículas (diatomeas), las cuales poseen una estructura porosa.

El alto porcentaje de absorción de agua de los ladrillos fabricados con diatomeas (Pimraksa y Chindaprasirt, 2009), se debe a la capacidad que poseen las tierras diatomeas de absorber líquidos (Ivanov y Belyakov, 2008).

Los ladrillos mejorados con tierras diatomeas (3.07 kg), poseen un 27 % menos de masa que los ladrillos artesanales producidos en Catamayo. Los resultados de masa de los ladrillos artesanales producidos en Catamayo (4.2 kg)

se obtuvieron de la caracterización realizada en el presente trabajo y de la tesis (Pérez-Castillo, 2016).

Los ladrillos de tierras diatomeas (70/30) presentan una mejora (incremento) en la resistencia a compresión simple del 62.4 %, con respecto a los ladrillos artesanales caracterizados en la presenta investigación. Si se toma como referencia los ladrillos de los 7 productores de Catamayo caracterizados por (Pérez-Castillo, 2016), la resistencia se mejoró en un 175%.

Los ladrillos de tierras diatomeas son un producto homogéneo debido a la poca dispersión que mostraron los resultados de densidad aparente y el ensayo de compresión simple.

REFERENCIAS

1. AASTHO T-100., (2010). *Standard Method of Test for Specific Gravity of Soils*.
2. Agilan, V., (2016). ENERGY SAVING LIGHTWEIGHT BRICKS USING (pp. 171–176). http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2149.0722
3. Allen, E., & Iano, J. (2008). *Fundamentals of building construction: materials and methods* (New York). Wiley.
4. Arik, H. (2003). Synthesis of Si3N4 by the Carbo-Thermal Reduction and Nitridation of Diatomite. *Journal of the European Ceramic Society*, *23*(12), 2005–2014. http://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00038-4
5. ASTM C128. (2004). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad especifica) y la absorción de agregados finos.*
6. ASTM D422. (2007). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*
7. ASTM D4318. (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.*
8. Berge, B. (2009). *The ecology of building materials* (2nd ed.). Burlington: Architectural Press, Jordan Hill.
9. Bidoung, J. C., Pliya, P., Meukam, P., Noumowé, A., & Beda, T. (2016). Behaviour of Clay Bricks from Small-Scale Production Units after High Temperature Exposure. *Materials and Structures*, *49*(12), 4991–5006. http://doi.org/10.1617/s11527-016-0838-0
10. Callister, W., & Rethwisch, D. (2007). *Materials science and engineering: an introduction*. *Materials Science and Engineering* (7 ma, Vol. 94). http://doi.org/10.1016/0025-5416(87)90343-0
11. Del Coz Díaz, J. J., García Nieto, P. J., Álvarez Rabanal, F. P., & Lozano Martínez-Luengas, A. (2011). Design and shape optimization of a new type of hollow concrete masonry block using the finite element method. *Engineering Structures*, *33*(1), 1–9. http://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.09.012
12. Duggal, S. K. (2008). *Building materials* (3ra edició, Vol. 1). New Age International (P) Limited.
13. Ferraz, E., Coroado, J., Silva, J., Gomes, C., & Rocha, F. (2011). Manufacture of Ceramic Bricks Using Recycled Brewing Spent Kieselguhr.

Materials and Manufacturing Processes, *26*(10), 1319–1329. http://doi.org/10.1080/10426914.2011.551908

14. Flower, R. J. (2013). *DIATOM METHODS | Diatomites: Their Formation, Distribution, and Uses*. *Encyclopedia of Quaternary Science* (2nd ed.). Elsevier B.V. http://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00220-X
15. Galal Mors, H. E. (2010). Diatomite: Its Characterization, Modifications and Applications. *Asian Journal of Materials Science*, *2*(3), 121–136. http://doi.org/10.3923/ajmskr.2010.121.136
16. Galán, E., & Aparicio, P. (2005). Materias primas para la industria cerámica. In M. Á. Garcia del Cura & J. C. Cañaveras (Eds.), *Utilización de Rocas y Minerales Industriales; Alicante 4 de julio de 2005, vol. 2* (pp. 31–48). Alicante-España: Sociedad española de mineralogía.
17. García, V. J., Zúñiga-suárez, A. R., Márquez, C. O., Pérez, J. G., Fernández-martínez, F., & Hernández-olivares, F. (2016). Strength Developing in Clay-Andesite Brick. *Materials Sciences and Applications*, *7*, 403–420.
18. Iglesias, I., Yu, R., Ruiz, G., & Acosta, A. (2005). El ensayo de compresión diametral como alternativa a la caracterización mecánica de la cerámica de construcción. *Anales de Mecánica de La Fractura*, *22*, 575–580.
19. Ivanov, S. É., & Belyakov, a. V. (2008). Diatomite and its applications. *Glass and Ceramics (English Translation of Steklo I Keramika)*, *65*(1-2), 48–51. http://doi.org/10.1007/s10717-008-9005-6
20. Kornilov, a. V., & Luzin, V. P. (2004). Effective methods of processing argillaceous materials for building ceramics. *Glass and Ceramics (English Translation of Steklo I Keramika)*, *61*(1-2), 27–29. http://doi.org/10.1023/B:GLAC.0000026767.89367.45
21. Loganina, V. I., Simonov, E. E., Jezierski, W., & Małaszkiewicz, D. (2014). Application of activated diatomite for dry lime mixes. *Construction and Building Materials*, *65*, 29–37. http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.098
22. Lyons, A. (2010). *Meterials for architects and builders* (4th ed.). Burlington: Elsiever, Oxford.
23. NTE INEN 297. (1978). Ladrillos cerámicos. Requisitos.
24. Paschen, S. (1986). Diatomaceous earth extraction, processing and application. *Erzmetall*, *39*, 158–161.
25. Pérez-Castillo, J. G. (2016). *Mejorar la calidad de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Catamayo*. Universidad Técnica Particular de Loja.
26. Phonphuak, N., & Chindaprasirt, P. (2015). 6 – Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks. In F. Pacheco-Torgal, P. B. Lourenço, J. A. Labrincha, P. Chindaprisirt, & S. Kumar (Eds.), *Eco-Efficient Masonry Bricks and Blocks* (pp. 103–127). Woodhead Publishing. http://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00006-1
27. Pimraksa, K., & Chindaprasirt, P. (2009). Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. *Ceramics International*, *35*(1), 471–478. http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2008.01.013
28. Sampe, F., & Pakiding, D. L. (2015). Perception of Traditional Small Scale Brick-making owner on firewood usage for Brick-making process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *211*(September), 653–659. http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.095

29. Technical notes on brick construction. (2007). Specifications for and Classification of Brick. *Technical Notes on Brick Construction*. Virginia: The brick industry association. Retrieved from http://www.gobrick.com/
30. U.S Environmental Protection Agency. (1985). Calciners and Dryers in Mineral Industries - Background Information for Proposed Standards. Noth Carolina: EPA.
31. Wan Ibrahim, W. M., Hussin, K., Al Bakri Abdullah, M. M., Abdul Kadir, A., & Binhussain, M. (2015). A Review of Fly Ash-Based Geopolymer Lightweight Bricks. *Applied Mechanics and Materials*, *754-755*(October), 452–456. http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.452
32. Yilmaz, B., & Ediz, N. (2008). The use of raw and calcined diatomite in cement production. *Cement and Concrete Composites*, *30*(3), 202–211. http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.08.003
33. Zhang, L. (2013). Production of bricks from waste materials – A review. *Construction and Building Materials*, *47*, 643–655. http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043